OPEN ACCESS

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Jarosław JÓŹWIK
ORCID: 0009-0007-1510-985X
DOI: 10.15199/48.2025.08.19

Analiza problematyki wzorcowania maszyn udarowych

Analysis of the calibration problems of shock testing machines

mgr inż. Jarosław Jóźwik, Szkoła Doktorska Wdrożeniowa Politechniki Gdańskiej, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, E-mail: jaroslaw.jozwik@pg.edu.pl oraz Centrum Techniki Okrętowej S.A. ul. Szczecińska 65, 80-392 Gdańsk, E-mail: jaroslaw.jozwik@cto.gda.pl

Adres do korespondencji: jaroslaw.jozwik@pg.edu.pl

Streszczenie: Aby zapewnić spójność pomiarową podczas badań udarów mechanicznych należy wywzorcować maszynę udarową (jej część pomiarową), co wiąże się m. in. z określeniem jej kluczowych parametrów i oceną niepewności pomiaru. Artykuł przedstawia czy i w jakim stopniu rozwiązują tę problematykę normy międzynarodowe (ISO) oraz dodatkowo normy chińskie (zwłaszcza norma JJF 1943-2021), publikowane wyłącznie w języku chińskim, przez co nie są szeroko znane ani stosowane na rynkach międzynarodowych.

Słowa kluczowe: maszyny udarowe, wzorcowanie, JJF 1943-2021

Abstract: In order to ensure measurement consistency during testing, the shock machine (its measuring part) must be calibrated, which involves, among other things, determining its key parameters and assessing measurement uncertainty. The article presents whether and to what extent these issues are solved by international standards (ISO) and additionally by Chinese standards (especially the JJF 1943-2021 standard), published only in Chinese, which is why they are not widely known or used on international markets.

Keywords: shock testing machines, calibration, JJF 1943-2021

Wstęp

Maszyny wytwarzające udary mechaniczne są stosowane w badaniach odporności na wstrząsy urządzeń, których normalne warunki eksploatacyjne zwykle związane są z wysokimi przyspieszeniami i przeciążeniami – w technice morskiej, kosmicznej czy wojskowej. W obecnej dobie transformacji energetycznej w szybkim tempie wzrasta również zapotrzebowanie na badania udarowe modułów baterii litowo – jonowych tj. Rechargeable Energy Storage Systems (REESS), coraz szerzej wykorzystywanych w transporcie indywidualnym i zbiorowym (od autobusów po elektryczne promy pasażersko – samochodowe). Powstają zatem stosowne regulacje i wymagania dotyczące odporności na udary mechaniczne modułów, które należy poddawać badaniom przed wprowadzeniem ich na rynek. Wśród powszechnie stosowanych norm międzynarodowych dotyczących badań odporności na udary mechaniczne (głównie ISO/IEC/MIL-STD), gdy pojawia się aspekt kalibracji i spójności pomiarowej, spotyka się obecnie odwołanie do rodziny norm ISO 16063, z której dwie części dotyczą tematyki wzorcowania w dziedzinie udarów [1,2]. Należy jednak mieć na uwadze, że normy te dotyczą wzorowania wyłącznie samych przetworników udarów, będących jak wiadomo tylko jednym z elementów łańcucha pomiarowego, stanowiącego istotny element całego urządzenia jakim jest maszyna udarowa, która wytwarza jak również dokonuje pomiaru impulsów udarowych. W normie ISO 8568 określono wymagania konstrukcyjne oraz kluczowe parametry maszyny potrzebne do generowania konkretnych typów udarów. Producent ma zadeklarować parametry takie jak kształty impulsów, zakresy osiągalnych amplitud przyspieszenia udarów czy czasy trwania impulsów [3]. Idąc dalej zgodnie z tą normą same kształty impulsów (rozumiane jako przebieg przyspieszenia udaru w dziedzinie czasu) mają być zgodne z normą IEC 60068–2-27, która wyróżnia ich trzy rodzaje (półsinusoidalny, piłokształtny i trapezowy) i określa ich właściwości (w tym czasy narastania i opadania zboczy) oraz wymagane tolerancje kształtu [4]. W zasadzie te same wymagania co do rodzajów i kształtów impulsów istnieją w pozostałych normach związanych z badaniami udarowymi, z ewentualnymi ograniczeniami co do ich kształtu – przykładowo norma wojskowa MIL-STD-202–213 posługuje się wyłącznie impulsami półsinusoidalnymi i piłokształ-

tnymi [5]. I w tym momencie znajdujemy się w sytuacji, gdy mamy jasno opisane, w jaki sposób wywzorcować przetwornik udarów, jakie wymagania powinna spełniać konstrukcja maszyny wytwarzającej udary oraz jakie generować impulsy udarowe, natomiast nie mamy wymagań dotyczących wzorcowania układu pomiarowego, który najczęściej wraz z zaimplementowanym oprogramowaniem dokonuje pomiaru realizowanego przez maszynę udaru. Trudno w takich przypadkach spełnić wymaganie wzorcowania maszyny jako urządzenia pomiarowego, zwłaszcza jeżeli weźmiemy pod uwagę wymagania dotyczące zapewnienia spójności pomiarowej przy akredytacji laboratoriów wg ISO/IEC 17025 [6]. Wśród norm międzynarodowych w zasadzie nie znajdujemy konkretnych wytycznych dotyczących wzorcowania i lukę tę obecnie wypełnia norma JJF 1943–2021 *Calibration specification for shock measuring instruments* wydana w 2022 roku przez China National Institute of Metrology. Jest ona opracowaniem autorskim przy udziale kilku chińskich instytutów (Beijing Institute of Metrology and Testing Beijing Oriental Metrology and Testing Institute Beijing Institute of Technology) oraz komitetu technicznego National Technical Committee for Vibration, Shock and Speed Metrology [7].

Aby zapewnić spójność pomiarową podczas wzorcowania maszyn udarowych, należy oprzeć się na wszystkich istniejących obecnie wymaganiach normalizacyjnych i wziąć pod uwagę przedstawione poniżej parametry oraz sposób ich pomiaru, który nie zawsze jest oczywisty i może być w różny sposób przedstawiany i rozumiany zarówno w normach, jak i literaturze. Istnieje zatem potrzeba jednoznacznego ich opisania, aby zapewnić powtarzalność i odtwarzalność pomiarów oraz pozwolić na oszacowanie ich niepewności.

Czułość wartości szczytowej przyspieszenia układu pomiarowego

Norma JJF-1943:2021 proponuje wyznaczenie charakterystyki czułości całości zestawu pomiarowego (wraz z przetwornikiem) w nie mniej niż 7 punktach rozłożonych równomiernie w zakresie pomiarowym obejmując minimum i maksimum wartości przyspieszenia. Pomiary wykonuje się metodą interferometrii laserowej zgodnie z normą [1] lub metodą porównawczą, zgodnie z normą [2] z użyciem przetwornika wzorcowego.[1] Czułość jest przez normę definiowana jako

$$S_{sh} = \frac{V_p}{a_p} \quad (1)$$

gdzie:

S_{sh} – czułość urządzenia wzorcowanego wyrażona w mV/ms^{-2}, V_p – wartość szczytowa napięcia urządzenia wzorcowanego, w mV,

a_p – wartość szczytowa przyspieszenia zmierzona w torze wzorcowym, w m/s^2.

Pomiar charakterystyki czułości realizowany w taki sposób, wymaga dostępności wzorca (np. interferometru laserowego lub przetwornika wzorcowego wraz z odpowiednim torem pomiarowym) bezpośrednio w miejscu ustawienia maszyny udarowej albo wymaga dostarczenia układu pomiarowego maszyny do laboratorium wzorcującego. W większości przypadków nie jest to praktycznie możliwe do wykonania. Maszyny udarowe projektowane jako zintegrowany zespół urządzeń wbudowanych w fundament laboratorium, są z racji gabarytów (masy liczonej w tonach i wysokości często do kilku metrów) nieprzenośne. Najczęściej również nie jest możliwe wydzielenie samej części pomiarowej maszyny i dostarczenie jej do zewnętrznego laboratorium. Z kolei laboratorium wzorcujące również raczej nie dokona pomiarów interferometrem laserowym poza swoją siedzibą, gdzie posiada odpowiednio izolowane od drgań podłoża stanowisko pomiarowe i zapewnia odpowiednie warunki środowiskowe. Podobnie jeżeli miałoby przenosić własny wzorcowy układ wytwarzający udary – bez różnicy czy jest on sterowany pneumatycznie, hydraulicznie czy realizuje udar za pomocą wahadła, z reguły nie jest on projektowany jako przenośny.

Roczna stabilność szczytowej wartości przyspieszenia

Parametr stabilności rocznej norma JJF 1943–2021 określa dla zestawu pomiarowego wzorcowego stosowanego przy wzorcowaniu maszyn udarowych. Nie jest to parametr wyznaczany w czasie wzorcowania, ale określany jako wymaganie na poziomie 1% i odpowiada słownikowej definicji dryfu przyrządowego zawartego w VIM [8].

Błędy pomiaru wartości szczytowej przyspieszenia

Podobnie jak dla parametru czułości norma wymaga pomiaru nie mniej niż w 7 równomiernie rozłożonych punktach pomiarowych [7]. Błąd pomiaru wyrażany jako wartość względna ma postać

[1] Norma JJF-1943-2021 nie odnosi się wprost do wspomnianych norm ISO, lecz do zaadaptowanych w całości chińskich odpowiedników tych norm tj. GB/T 20485.13-2007 (ISO 16063-13:2001) oraz GB/T 20485.22-2008 (ISO 16063-22:2005).

$$\delta_{a,i} = \frac{a_{1,i} - a_{0,i}}{a_{0,i}} \cdot 100\% \, , \, i = 1, 2, ..., N \quad (2)$$

gdzie:
$\delta_{a,i}$ – względny błąd pomiaru wartości szczytowej przyspieszenia udaru,
$a_{1,i}$ – wartość przyspieszenia wskazana przez wzorcowany system pomiarowy,
$a_{0,i}$ – wartość przyspieszenia wskazana przez wzorcowy układ pomiarowy.

Realizacja pomiarów do określenia błędów pomiaru wartości szczytowej przyspieszenia udaru (jak i pozostałe parametry wzorcowane według JJF-1943–2021) również obarczona jest tymi samymi ograniczeniami jak wyżej opisane pomiary czułości wartości szczytowej przyspieszenia udaru.

Powtarzalność pomiaru wartości szczytowej przyspieszenia

Powtarzalność jako wydzielony parametr wzorcowania wyznaczany jest według normy JJF 1943–2021 tylko dla maszyn wykonujących udary wielokrotne, w jednej serii pomiarowej, składającej się z następujących po sobie powtórzeń. W tym przypadku norma wymaga wykonania minimum 6 identycznych powtórzeń w serii, nie precyzując jednak, jakich wartości mają dotyczyć pomiary. Sugeruje jednak, by wybrać te najczęściej używane, a jako wynik pomiaru powtarzalności maszyny do świadectwa wzorcowania wybrać najgorszy z nich [7]. Do wyznaczenia powtarzalności stosowana jest formuła

$$s_R = \frac{s_1}{\overline{a}_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:
s_R – powtarzalność wartości szczytowej przyspieszenia,
s_1 – powtarzalność, charakteryzowana przez odchylenie standardowe, $\overline{a}_1$ – średnia arytmetyczna serii wyników pomiarów wartości szczytowej przyspieszenia.

Należy zauważyć, że norma JJF 1943–2021 jako charakterystykę zmienności przyjmuje odchylenie standardowe eksperymentalne, a nie odchylenie standardowe eksperymentalne średniej, które przewodnik GUM czy EA-4/02 (dotyczący wyłącznie wzorcowania) wskazują jako najlepszą estymatę rozrzutu wartości wielkości mierzonej [9,10], przez co otrzymalibyśmy

$$s_{1a} = \sqrt{\frac{s_1^2}{N}} \quad (4)$$

gdzie:
s_{1a} – odchylenie standardowe ekperymentalne średniej,
s_1 – odchylenie standardowe ekperymentalne, N – liczba wykonanych pomiarów w serii.

Błędy pomiaru czasu trwania impulsu udarowego

Według normy JJF 1943–2021 błąd pomiaru czasu trwania impulsu wyznacza się równocześnie podczas wyznaczania błędów pomiaru wartości szczytowej przyspieszenia, a zatem dla tych samych punktów pomiarowych. Błąd ten wyrażany jako wartość względna ma postać

$$\delta_{t,i} = \frac{T_{1,i} - T_{0,i}}{T_{0,i}} \cdot 100\% \, , \, i = 1, 2, ..., N \quad (5)$$

gdzie:
$\delta_{t,i}$ – względny błąd pomiaru czasu trwania impulsu,
$T_{1,i}$ – czas trwania impulsu wskazany przez wzorcowany system pomiarowy,
$T_{0,i}$ – czas trwania impulsu wskazany przez wzorcowy układ pomiarowy.

W tym miejscu możemy zetknąć się z problemem metrologicznym, który uwidoczni się w zasadzie wyłącznie podczas wzorcowania – gdy pomiar czasu trwania impulsu przez maszynę może okazać się niemiarodajny. Wszystko za sprawą metodologii pomiaru czasu impulsu, która jest zaimplementowana w systemie pomiarowym maszyny, co wymaga przeprowadzenia dodatkowej analizy.

Weźmy za przykład uzyskane wyniki pomiarów wykonanych na potrzeby wzorcowania parametru czasu trwania impulsu, prezentowane przez maszynę udarową[2] i przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów udaru mechanicznego

Lp.	Wartość szczytowa przyspieszenia [g]	Czas trwania impulsu [ms]	Prędkość [m/s]
No.1	14,22	46,48	4,12
No.2	14,22	46,50	4,12
No.3	14,22	46,50	4,12
No.4	14,22	46,50	4,12
No.5	14,22	46,48	4,12
No.6	14,22	46,50	4,12
No.7	14,22	46,48	4,12

[2] Maszyna udarowa pionowa (grawitacyjna, o nośności do 1000 kg, wytwarzająca impulsy udarowe półsinusoidalne, deklarowana dokładność pomiaru: 3%), prezentacja wyników ograniczona do wybranych parametrów.

Na potrzeby wzorcowania, aby zadać wzorcowy odcinek czasu, dokonano symulacji odpowiedzi udarowej przetwornika udarów, za pomocą elektrycznej symulacji impulsu udarowego przy użyciu wzorcowego generatora przebiegów półsinusoidalnych oraz impedancji zastępczej przetwornika udarów. Wyniki charakteryzują się dużą powtarzalnością i brakiem wartości przypadkowych, zatem z dużą dozą prawdopodobieństwa jesteśmy w stanie wyznaczyć błąd systematyczny maszyny. Jednak gdy zestawimy parametry wzorcowe (w tym przypadku interesujący nas czas trwania impulsu) z odpowiedzią układu pomiarowego maszyny okazuje się, że uzyskane wyniki ponad 2-krotnie przekraczają błędy dopuszczalne deklarowane przez producenta (tabela 2). Zatem już w tym momencie, chcąc zastosować zasadę prostej akceptacji[3] zgodnie z dokumentem ILAC G8 [11], stwierdzenie zgodności jest oczywiste – maszyna nie spełnia wymagań specyfikacji producenta.

Tabela 2. Błędy pomiaru czasu trwania impulsu udarowego

Czas trwania impulsu zmierzony [ms]	Czas trwania impulsu wzorcowy [ms]	Błąd względny pomiaru [%]	Błąd dopuszczalny [%]
46,48	50,00	–7,0	3

Kontynuując wzorcowanie możemy wyznaczyć błędy dla pozostałych wybranych długości czasu trwania impulsu i zdawać by się mogło, że wyznaczyliśmy błąd systematyczny układu pomiaru czasu maszyny. Jednak uwzględniając postęp technologiczny i obecny stan techniki pomiarowej, trudno jest zaakceptować tak duże błędy pomiaru czasu, gdyż od wielu lat pomiary czasu rzędu milisekund nie wymagają stosowania technik zaawansowanych i ich dokładność nie stanowi obecnie problemu, który by powodował tak duże różnice[4]. Zatem należy skupić się na zasadach i normach, według których czas trwania impulsu może być mierzony.

W normie ISO 8568 [3] dotyczącej charakterystyk maszyn udarowych, znajdujemy odniesienie do normy IEC 60068–2-27 [4], która zawiera wytyczne co do kształtów i parametrów impulsów, jakie mają być przez maszyny udarowe wytwarzane. Również w parametrach oprogramowania wzorcowanej maszyny udarowej znajdujemy odniesienie do chińskiej normy GB/T 2423.5, która w całości jest odpowiednikiem IEC 60068–2-27 [4]. Zatem istnieje tu bezpośrednie wskazanie co do określania parametrów generowanych impulsów. W przypadku impulsu półsinusoidalnego (jak też i pozostałych kształtów impulsów) pomiar czasu jest realizowany od poziomu zera, co jest wyraźnie zaznaczone na każdym z rysunków w normie [4]. W ten sam sposób czas trwania impulsu udarowego (wraz z tolerancjami) określony jest w wymaganiach ONZ dotyczących bezpieczeństwa systemów magazynowania energii elektrycznej (REESS), produkowanych najczęściej w technologii litowo – jonowej, w pojazdach wyposażonych w elektryczny układ napędowy [13]. Również w ten sam sposób użyty do wzorcowania generator funkcyjny wytwarzał wzorcowe przebiegi półsinusoidalne – długość czasu trwania impulsu mierzona była względem poziomu zera.

Jednak odnosząc się do literatury przedmiotu, znajdujemy wyjaśnienie (często już w samej części definicyjnej), że czas trwania impulsu udarowego to czas potrzebny na to, aby przyspieszenie impulsu wzrosło od pewnej określonej części maksymalnej amplitudy i zanikło do tej wartości [12]. Zatem czas trwania impulsu można mierzyć na innej wysokości niż zero – co ma swoje uzasadnienie, jeśli chcemy uniknąć niejednoznaczności dotyczącej początku (oraz końca) czasu trwania impulsu, związanej z poziomem szumów sygnału w okolicy zera (zerowej wartości przyspieszenia udaru). W normie wojskowej MIL-STD-202–213 [5] znajdujemy praktycznie odzwierciedlenie impulsów udarowych wymaganych w IEC 60068–2-27 [4] (z nieco innymi tolerancjami kształtu), ale z dopiskiem, że czas trwania impulsu powinien być mierzony na wysokości 0,1A (gdzie A – wartość szczytowa amplitudy przyspieszenia). Jednak aby odzwierciedlić pełny czas trwania impulsu półsinusoidalnego, należy tak zmierzony czas podzielić przez współczynnik korekcyjny 0,94 [5]. Przy założeniu idealnej sinusoidy rzeczywiście otrzymalibyśmy wynik zbliżony do wzorcowego (według przykładu w tabeli 2 zmierzony i tak przeliczony czas trwania impulsu wynosi 49,45 ms, co oznacza błąd na poziomie -1% i tym samym oznacza spełnienie wymagań przez maszynę).

Natomiast w normie JJF1943–2021 odnajdziemy zapis wprost mówiący, że czas trwania impulsu powinien być mierzony na wysokości 10% wartości szczytowej amplitudy udaru. Jeżeli zatem maszyna faktycznie dokonuje pomiaru czasu na wysokości 10% szczytowej amplitudy udaru, wówczas aby sprawdzić jej wiarygodność należałoby przeliczyć i skorygować wartość wzorcową czasu sygnału. Wówczas otrzymamy wyniki zaprezentowane w tabeli 3.

Mając na uwadze powyższe, problemem nie jest błąd pomiaru czasu przez układ pomiarowy maszy-

[3] tj. bez uwzględnienia niepewności pomiaru.

[4] również biorąc pod uwagę rok produkcji wzorcowanej maszyny (2014).

Tabela 3. Błędy pomiaru czasu trwania impulsu przy założeniu pomiaru na poziomie 10% wartości szczytowej amplitudy impulsu

Czas trwania impulsu zmierzony [ms]	Czas trwania impulsu wzorcowy (przeliczony) [ms]	Błąd względny pomiaru [%]	Błąd dopuszczalny [%]
46,48	46,81	–0,7	3

ny[5], tylko interpretacja i implementacja zapisów norm przez jej producenta.

Błędy pomiaru prędkości impulsu udarowego

Według normy JJF 1943–2021 błąd pomiaru prędkości impulsu wyznacza się równocześnie podczas wyznaczania błędów pomiaru wartości szczytowej przyspieszenia, a zatem dla tych samych punktów pomiarowych. Błąd ten wyrażany jako wartość względna ma postać

$$\delta_{v,i} = \frac{v_{1,i} - v_{0,i}}{v_{0,i}} \cdot 100\% \, , \, i = 1, 2, ..., N \tag{6}$$

gdzie:

$\delta_{v,i}$ – względny błąd pomiaru prędkości impulsu,

$v_{1,i}$ – prędkość impulsu wskazana przez wzorcowany system pomiarowy,

$v_{0,i}$ – wartość prędkości wskazana przez wzorcowy układ pomiarowy.

Przy interpretacji wyników pomiarów prędkości impulsu udarowego natykamy się na ten sam problem co przy pomiarze czasu jego trwania, ponieważ prędkość jest zależna m.in. od czasu. I tutaj również nie osiągniemy spełnienia wymagań przez maszynę co przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Błędy pomiaru prędkości impulsu udarowego

Prędkość impulsu zmierzona [m/s]	Prędkość impulsu wzorcowa [m/s]	Błąd względny pomiaru [%]	Błąd dopuszczalny [%]
4,12	4,50	–8,4	3

Uwzględniając ponownie pomiar czasu trwania impulsu na poziomie 10% wartości szczytowej amplitudy i przeliczając tym samy wartość wzorcową prędkości, uzyskamy inny wynik pomiaru prędkości impulsu, jak przedstawiono w tabeli 5.

[5] Było to możliwe po przeanalizowaniu serii przebiegów czasowych rejestrowanych przez wzorcowaną maszynę.

Tabela 5. Błędy pomiaru prędkości impulsu przy założeniu pomiaru czasu na poziomie 10% wartości szczytowej amplitudy impulsu

Prędkość impulsu zmierzona [m/s]	Prędkość impulsu wzorcowa (przeliczona) [m/s]	Błąd względny pomiaru [%]	Błąd dopuszczalny [%]
4,12	4,16	–1,0	3

Liniowość amplitudy przyspieszenia udaru

Norma JJF 1943–2021 proponuje ocenę liniowości maszyny na podstawie pomiarów wartości czułości szczytowej przyspieszenia, poprzez zastosowanie regresji liniowej. W zależności od rodzaju pomiaru (interferometrii laserowej lub porównania z przetwornikiem wzorcowym), czasów trwania impulsu oraz amplitudy, określa błędy dopuszczalne liniowości na poziomie od 1% dla systemów wzorcowych do 20% dla systemów roboczych [7].

Zgodność fazowo – amplitudowa kanałów oraz ich zakres dynamiczny

Norma JJF 1943–2021 proponuje taką ocenę dla systemów wielokanałowych, poprzez zadanie na każdy kolejny kanał sygnału o częstotliwości 1 kHz i amplitudzie 1 V i porównanie wyników z analizatorem wzorcowym. Zgodność faz nie powinna być gorsza niż 3 stopnie, a zgodność amplitud nie powinna się różnić więcej niż o 0,3 dB, natomiast zakres dynamiczny każdego z kanałów nie powinien być mniejszy niż 45 dB [7]. Są to wymagania stawiane przez normę, choć trudno ocenić na ile są to użyteczne parametry z punktu widzenia wzorcowania.

Podsumowanie

Problematyka wzorcowania maszyn i systemów do pomiarów udarów mechanicznych nie cieszy się zbytnim zainteresowaniem wśród wydawnictw i prac normalizacyjnych. Większy nacisk kładziony jest na opracowywanie wymagań dotyczących odporności na udary niż na tematykę dotyczącą spójności pomiarowej. W normach międzynarodowych czy obronnych w zasadzie jedyne co znajdujemy, to wymagania dotyczące odporności obiektów na wstrząsy. A praktyka metrologiczna pokazuje, że potrzebne są jednolite wymagania dla systemów dokonujących pomiarów udarów mechanicznych i identyfikacja parametrów wzorcowania, przez co możliwe będzie ocena ich metrologicznej wiarygodności. Niejako naprzeciw potrzebom w tym zakresie wychodzi wydana w 2022 roku norma chińska [7], która specyfikuje parame-

try tworzące charakterystykę metrologiczną maszyny udarowej. Nie jest ona normą powszechnie znaną i stosowaną i trudno jest znaleźć publikacje, które się o nią opierają. Natomiast warto przyjrzeć się jej założeniom i przede wszystkim przeanalizować możliwość przeprowadzenia wzorcowania w sposób w niej opisany, gdyż nie wszystko daje się w prosty sposób zastosować i przełożyć na praktykę laboratoryjną.

Przyjęto: 13.082025, **zaakceptowano**: 19.08.2025,
opublikowano: 29.08.2025

LITERATURA

[1] ISO 16063–13:2001 Methods for the calibration of vibration and shock transducers, Part 13: Primary shock calibration using laser interferometry (2001), International Organization for Standardization
[2] ISO 16063–22:2005 Methods for the calibration of vibration and shock transducers, Part 22: Shock calibration by comparison to a reference transducer (2005), International Organization for Standardization
[3] ISO 8568:2007 Mechanical shock, Testing machines, Characteristics and performance (2007), International Organization for Standardization
[4] IEC 60068–2-27:2009 Badania środowiskowe, Część 2–27: Próby – Próba Ea i wytyczne: Udary (2009), Polski Komitet Normalizacyjny
[5] MIL-STD-202–213, Test Method Standard, Method 213, Shock, specified pulse (2015), Department of Defense
[6] PN-EN ISO/IEC 17025:2018–02 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących (2018), Polski Komitet Normalizacyjny
[7] JJF 1943–2021 Calibration specification for shock measuring instruments (2022), China National Institute of Metrology
[8] PKN-ISO/IEC Guide 99:2010 Międzynarodowy słownik metrologii (VIM), Pojęcia podstawowe i ogólne oraz terminy z nimi związane (2010), Polski Komitet Normalizacyjny
[9] JCGM 100:2008 Ewaluacja danych pomiarowych. Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru (2010), Międzynarodowe Biuro Miar
[10] EA-4/02 M: 2022 Ocena niepewności pomiaru przy wzorcowaniu (2022), European co-operation for Accreditation
[11] ILAC G8:09/2019 Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity (2019), International Laboratory Accreditation Cooperation
[12] Piersol Allan G., Thomas L. Paez, Harris' Shock and Vibration Handbook, 6th ed. (2010), New York: McGraw-Hill
[13] Regulation No. 100 E/ECE/TRANS/505/Rev.3/Add.99/Rev.3 Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train (2021), United Nations